Jakość optyki -MTF

Wprowadzenie

Wartość parametru MTF systemu obrazowania jest prawdziwą miarą rozdzielczości (ostrości obrazu, widoczność szczegółów) jaką system może osiągnąć.

Powszechna praktyka definiowania rozdzielczości jako liczby pikseli mówi tylko o etapie pikselizacji będącym częścią procesu akwizycji. W systemie, obraz jest najpierw rzutowany przez obiektyw, spikselizowany przez matryce kamery, podlega konwersji cyfrowej i na koniec poddany jest działaniu filtrów cyfrowych. W praktyce, na MTF systemu obrazowania wpływa także wiele innych czynników, jak oświetlenie, środowisko, które określają prawdziwą wydajność systemu.

W tym artykule skupimy się na MTF obiektywu, czyli OTF (Optical Transfer Function).

OTF może być reprezentowana przez wykres amplitudy światła w funkcji częstości przestrzennej.

Mówimy o kontraście obrazu coraz bardziej zagęszczających się par czarno-białych linii. Zwykle określa się, że obiektyw jest przeznaczony dla wielkości piksela, przy którym linie szerokości 1 piksela dają kontrast co najmniej 30%.

Graniczna, maksymalna, wartość MTF idealnego obiektywu jest określona przez dyfrakcję. Limit ten mierzymy średnicą dysku Airy'ego. Obiektywy z realnego świata są obarczone niedoskonałościami, które obniżają ich MTF poniżej limitu dyfrakcyjnego.

Spis treści

WPROWADZENIE 1
Wykres modulacji sygnału i modulacji jego obrazu 3
DANE KATALOGOWE 4
Wykres MTF : kontrast =f(odległości od osi optycznej) 4
Opis wykresu 4
Wykres MTF: Kontrast =f(lp/mm) 5
W praktyce 6
JAK SZYBKO OCENIĆ MTF? 6
KONKLUZJA 6

Terminy:

Obraz , rozdzielczość obrazu - odnosi się do płaszczyzny sensora
Obiekt, scena, rozdzielczość na obiekcie – odnosi się do obserwowanego/obrazowanego obiektu

Wzornik do określenia MTF



Najprostszy target, czarno-białe pasy o rosnącej częstości - niestety, matematyczne analiza degradacji obrazu tego wzoru jest bardzo skomplikowana, gdyż sygnał zmienia się w sposób nieciągły.



Znacznie łatwiejszy do analizy wzór: pasy o zmieniającej się sinusoidalnie jasności. Znając odpowiedzi poszczególnych elementów na takie pobudzenie, można obliczyć odpowiedź całego systemu.



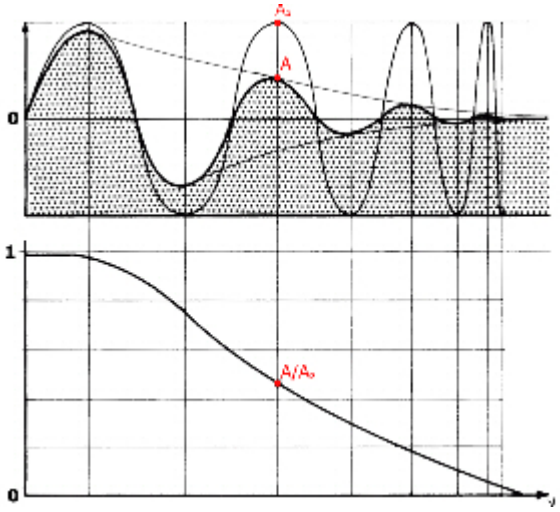
Łącząc te dwa wzory, otrzymujemy zagęszczającą się sinusoidę, oscylującą między "czystą czernią" i "czystą bielą" poprzez pełną gamę szarości.



Obraz powyższego wzoru utworzony przez obiektyw. Kontrast jest prawie niezmieniony dla niskich częstotliwości przestrzennych, lecz stopniowo maleje gdy linie się zagęszczają, aż w końcu otrzymujemy prawie płaski sygnał, gdzie nie można wyróżnić żadnych szczegółów.

© A1Pixel sp z o.o. ul. Krasińskiego 15/3, 87-100Toruń, Polska, www.a1pixel.pl ,

Wykres modulacji sygnału i modulacji jego obrazu



Górny wykres:
Cienka krzywa -target- pokazuje stałą amplitudę Ao sygnału wejściowego o rosnącej częstości przestrzennej. Gruba linia (i szara strefa) to nasycenie obrazu. Jego amplituda A maleje ze wzrostem częstości linii sygnału.

Dolny wykres:
Współczynnik A / Ao, który stopniowo zmniejsza się, charakteryzuje postępującą degradację kontrastu obrazu i pozwala ocenić potencjalną zdolność obiektywu testowanego do oddania szczegółów.

MTF to stosunek A / Ao w konkretnych warunkach obrazowania.

Dane katalogowe

Wykres MTF : kontrast =f(odległości od osi optycznej)

Typową prezentację danych MTF wyjaśnimy na przykładzie dwóch obiektywów.

Proszę zwrócić uwagę, że wykres opisuje konkretne warunki: powiększenie (0.2 i -0.13) oraz przesłonę (f/11 i f/8). Zwykle strony katalogowe zawierają kilka wykresów dla rożnych wartości tych parametrów.

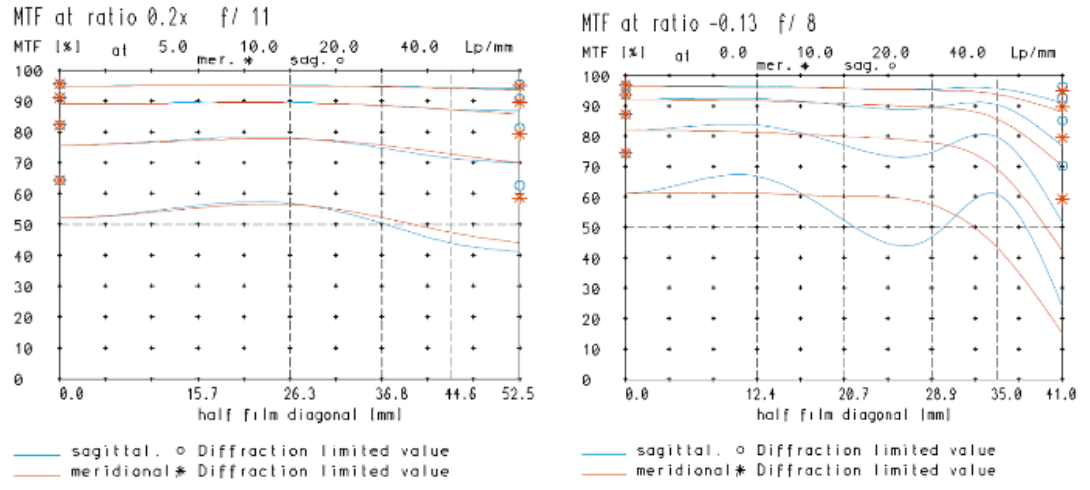


Fig1. MTF w funkcji odległości od osi optycznej dla kolejnych gęstości lp/mm

Opis wykresu

Współrzędne: Na osi pionowej: kontrast obrazu w % w funkcji odległości od środka obrazu
Parametry nad ramką: wartości częstości linii wyrażonej w lp/mm czyli line-pairs /mm (mierzone w płaszczyźnie obrazu – „filmu")
Krzywe: wartość MTF dla kolejnych wartości częstości optycznej wyrażonej w Lp/mm (5, 10, 20, 40 lp/mm) w funkcji odległości od osi optycznej.
Punkty na ramce: wartość teoretyczna MTF ograniczonego tylko dyfrakcją.

Meridional i Sagittal MTF:
Krzywe MTF są rozbite na dwa kierunki: meridional (tangential)- linie równoległe do stycznej do koła w danej odległości od osi optycznej i sagittal- w kierunku prostopadłym.
Powodem podawania dwóch krzywych jest astygmatyzm obiektywu, Dla punktu poza osią optyczną jego obraz jest wydłużoną plamką co oczywiście ma wpływ na wartość MTF. Podaje się więc MTF w dwóch, wzajemnie prostopadłych kierunkach.

Wykres MTF: Kontrast =f(lp/mm)

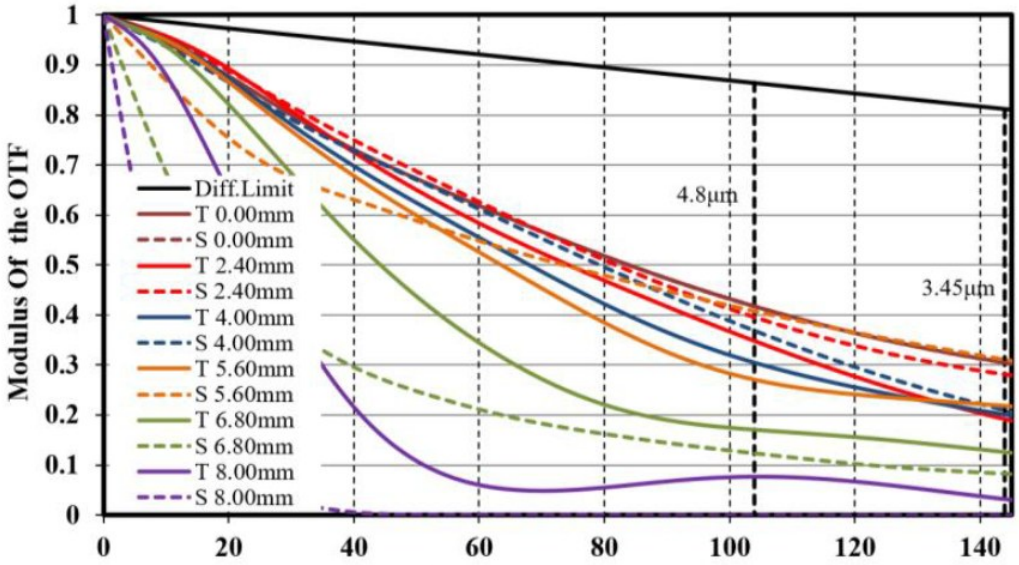


Fig2. MTF w funkcji gęstości lp/mm dla kolejnych odległości od osi optycznej.
Obiektyw dla sensora o przekątnej 11 mm(2/3") i pikseli 4.8um (3.5MP)

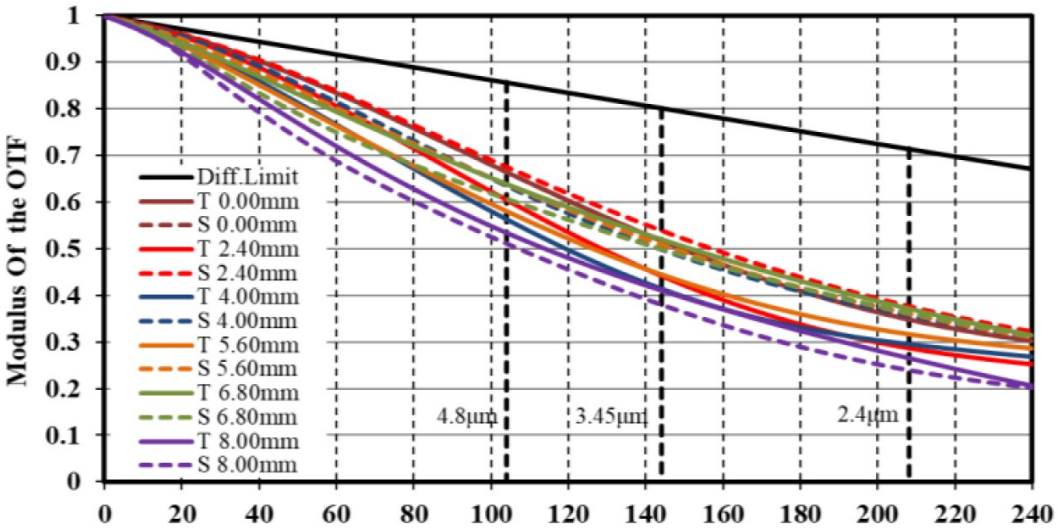


Fig3. MTF w funkcji gęstości lp/mm dla kolejnych odległości od osi optycznej.
Obiektyw dla sensora o przekątnej 16 mm(1 ") i pikseli 2.4um (20MP)

Jest to inne przedstawienie MTF. Kolejne krzywe odpowiadają kontrastowi dla danej odległości od osi optycznej dla wrastającej wartości lp/mm na osi X. Dla ułatwienia, pionowe przerywane linie zaznaczają wielkość piksela odpowiadającego danemu lp/mm.

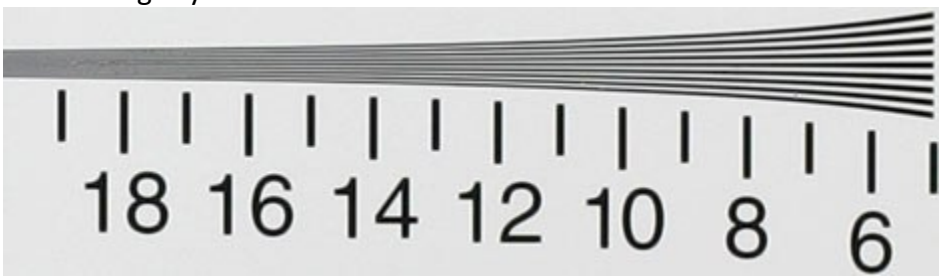
W praktyce

Obiektywu po prawej Fig. 1. można użyć do matryc mniejszych niż 70mm średnicy (co może być krytyczne dla kamer linescan). Lewy obiektyw da eksploatowane obrazy o średnicy nawet 100mm.

Od obu nie należy oczekiwać kontrastowego obrazu dla rozdzielczości większej niż 40lp/mm. W podanych warunkach, przechodząc od płaszczyny obrazu na drugą stronę obiektywu, na stronę obserwowanej sceny, (powiększenie odpowiednio 0.2 i -0.13, oraz przesłona f/11 -f/8) oba obiektywy pozwalają uzyskać obraz obiektu o średnicy 500mm i uzyskać pewne rozróżnienie detali obiektu wielkości 0.06mm (obiektyw lewy) i 0.1mm (prawy).

Jak szybko ocenić MTF?

Za pomocą wzornika z zagęszczającymi się liniami można oszacować praktyczną, maksymalna rozdzielczość ocenianego systemu:



UWAGI:
1. Tym razem skala określa ilość par linii na cm w płaszczyźnie sceny/obiektu (nie obrazu/sensora jak powyżej). (skala pomniejszona).
2. Ściśle mówiąc, jest to wzornik *Contrast Transfer Function* (CTF) lub *Square Wave Response*(SWR). Jeżeli nie chcemy badać każdego elementu osobno, pozwala ocenić parametry systemu.

Konkluzja

Decydujące znaczenie dla uzyskania wysokiej efektywnej rozdzielczości systemu ma nie ilość pikseli na matrycy, ale staranny dobór obiektywu. Obraz rozbity na coraz to większą ilość pikseli nie pomoże dostrzec szczegółów, jeżeli zabraknie odpowiedniego kontrastu obrazu.

Staramy się tak dobrać obiektyw by jakość optyczna obrazu pozwalała wykorzystać do maksimum piksele sensora. Celem jest by obiektyw zapewniał kontrast >30% dla gęstości linii bliskiej 1 piksela na linię na całej powierzchni sensora (lub przynajmniej jej używanej części, jeśli narożniki nie są istotne).